

CHAPTER 6

Electromagnetic Induction

الحث الكهرومغناطيسي

INDUCED ELECTROMOTIVE FORCE IN A WIRE

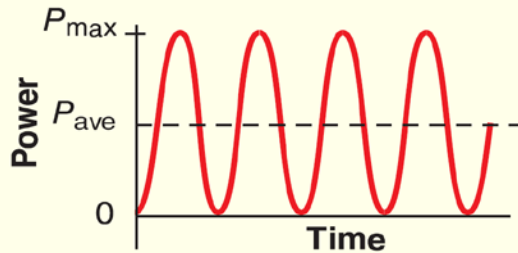
Induced electromotive force in a wire EMF is equal to the strength of the magnetic field times the length of the wire times the component of the velocity of the wire in the field that is perpendicular to the field.

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك EMF تساوي مقدار المجال المغناطيسي مضروباً في طول السلك مضروباً في مركبة السرعة العمودية على اتجاه المجال المغناطيسي .

$$EMF = B L v$$

$$EMF = I R$$



$$P_{AC} = \frac{1}{2} P_{AC \max}$$

$$I_{\text{eff}} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) I_{\max} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707 I_{\max}$$

$$V_{\text{eff}} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) V_{\max} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707 V_{\max}$$

$$P_{AC} = I_{\text{eff}}^2 R = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = I_{\text{eff}} V_{\text{eff}}$$

$$\frac{\text{primary potential difference } (V_p)}{\text{secondary potential difference } (V_s)} = \frac{\text{number of turns in primary coil } (N_p)}{\text{number of turns in secondary coil } (N_s)} = \frac{\text{current in the secondary coil } (I_s)}{\text{current in the primary coil } (I_p)}$$

$$\frac{(I_s)}{(I_p)} = \frac{\text{عدد لفات الملف الابتدائي } (N_p)}{\text{عدد لفات الملف الثانوي } (N_s)} = \frac{\text{فرق الجهد للملف الابتدائي } (V_p)}{\text{فرق الجهد للملف الثانوي } (V_s)}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Step-Up Transformer	محول رافع للجهد	$V_p < V_s$	$N_p < N_s$	$I_p > I_s$
Step-Down Transformer	محول خافض للجهد	$V_p > V_s$	$N_p > N_s$	$I_p < I_s$

Induced electromotive force (Induced EMF)

When a wire moves perpendicular to a magnetic field, there is a force on the charges in the wire. The force causes negative charges to move to one end of the wire, leaving positive charges at the other end . therefore a potential difference across the length of the wire.

This potential difference is called the **induced electromotive force**, or (induced EMF).

The magnitude of an induced EMF in a wire in a magnetic field depends on:

- 1- The strength of the magnetic field (B) .
- 2- The length of the wire within the field (L)
- 3- The component of the velocity of the length of wire that is perpendicular to the field ($v (\sin \theta)$)

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك (EMF المستحثة)

عندما يتحرك سلك عمودياً على مجال مغناطيسي . فإن الشحنات داخل السلك تتأثر بقوة مغناطيسية فتتحرك الشحنات السالبة (الإلكترونات) من أحد طرفي السلك إلى الطرف الآخر مما يترك الشحنات الموجبة عند الطرف الآخر . و بالتالي حدوث فرقاً في الجهد بين طرفي السلك يسمى القوة الدافعة الكهربائية المستحثة (EMF المستحثة) .

يعتمد مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك في مجال مغناطيسي (EMF المستحثة) على:

- 1- مقدار المجال المغناطيسي (B) .
- 2- طول السلك داخل المجال المغناطيسي (L) .
- 3- مركبة سرعة السلك العمودية على المجال المغناطيسي ($v (\sin \theta)$) .

INDUCED ELECTROMOTIVE FORCE IN A WIRE

Induced electromotive force in a wire EMF is equal to the strength of the magnetic field times the length of the wire times the component of the velocity of the wire in the field that is perpendicular to the field.

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في سلك EMF تساوي مقدار المجال المغناطيسي مضروباً في طول السلك مضروباً في مركبة السرعة العمودية على اتجاه المجال المغناطيسي .

$$EMF = B L v (\sin \theta)$$

$$EMF = I R$$

If a wire moves perpendicular to a magnetic field, the above equation reduces to $EMF = B L v$ because $\sin 90^\circ = 1$. Note that no EMF is induced in a length of wire that moves parallel to a magnetic field because $\sin 0^\circ = 0$.

إذا تحرك السلك عمودياً على المجال المغناطيسي { $\theta = 90^\circ$ } حيث { $\sin 90 = 1$ } و تكون ($EMF_{\max} = B L v$)
إذا تحرك السلك موازياً للمجال المغناطيسي { $\theta = 0^\circ$ } حيث { $\sin 0 = 0$ } . تكون $EMF = 0$

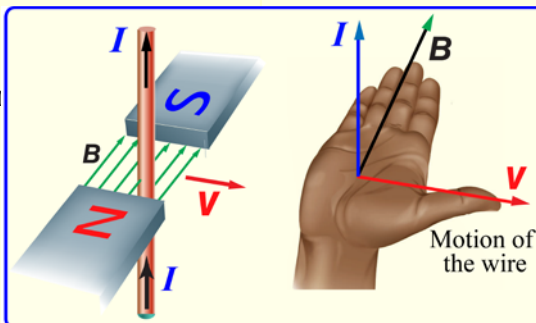
$$B = \frac{F}{IL}$$

$$EMF = B L v = \left(\frac{F}{IL} \right) L v = \left(\frac{F}{I} \right) v = \left(\frac{N}{A} \right) \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{(N \cdot m)}{(A \cdot s)} = \frac{J}{C} = V$$

لذلك تقاس EmF بوحدة الفولت **volts** Therefore, EMF is measured in

Right-hand rule determine the direction of current

Point your thumb in the direction the wire moves and your fingers in the direction of the magnetic field. Your palm points in the direction of the force on the positive charges (the direction of current)



قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه التيار

قم بتوجيه إبهامك في اتجاه حركة السلك و أصابعك في اتجاه المجال المغناطيسي . تشير راحة يدك إلى اتجاه القوة المغناطيسية على الشحنات الموجبة (اتجاه التيار)

السؤال (1)

A straight wire that is (25 m) long is mounted on an airplane flying at (125 m/s). The wire moves in a perpendicular direction through Earth's magnetic field ($B = 5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$). What EMF is induced in the wire ?

سلك مستقيم طوله (25 m) مثبت على طائرة تتحرك بسرعة (125 m/s) عموديا على المجال المغناطيسي الأرضي ($B = 5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$). احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك؟

السؤال (2)

A straight wire segment in a circuit is (30.0 m) long and moves at (2.0 m/s) perpendicular to a magnetic field.

1- A (6.0 V) EMF is induced .

What is the magnetic field ?

2- The total resistance of the circuit is (5.0 Ω) .

What is the current?

يبلغ طول سلك مستقيم في دائرة (30.0 m) و يتحرك بسرعة (2.0 m/s) متعامداً على مجال مغناطيسي .

1- إذا كانت ($EMF = 6.0 \text{ V}$) .

ما مقدار المجال المغناطيسي .

2- إذا كانت مقاومة الدائرة (5.0 Ω) .

ما قيمة التيار المستحث .

السؤال (3)

You move a straight wire that is (0.5 m) long at a speed of (20 m/s) vertically through a (0.4 T) magnetic field pointed in the horizontal direction.

1- What EMF is induced in the wire ?

2- The wire is part of a circuit with a total resistance of (6.0 Ω) . What is the current ?

يتحرك سلك مستقيم طوله (0.5 m) إلى أعلى بسرعة

(20 m/s) عموديا على مجال مغناطيسي أفقي مقداره (0.4 T)

1- ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك ؟

2- إذا كان السلك جزءا من دائرة مقاومتها (6.0 Ω) .

احسب مقدار التيار المار في الدائرة ؟

Electric Generators

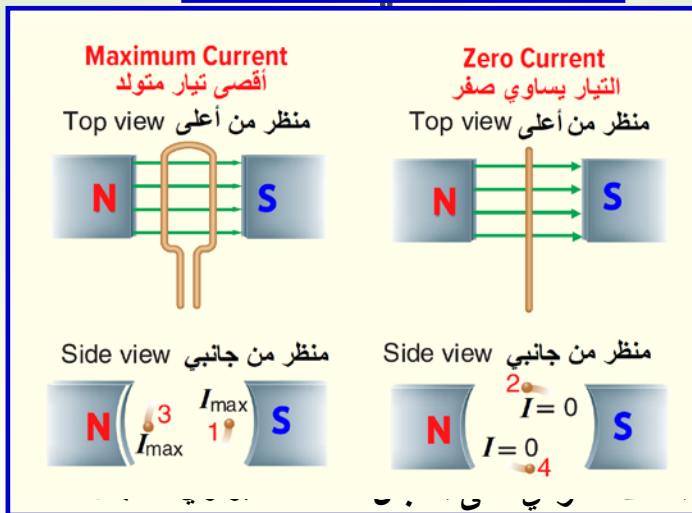
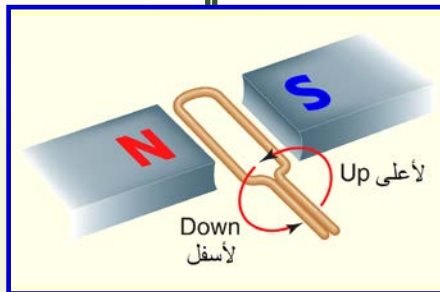
- Electric generator **converts mechanical energy to electrical energy**.

- Electromagnetic induction is the Principle governing the operation of electric generators.

- It consists of a number of wire loops in a magnetic field.

The wire is wound around an iron core, which concentrates the magnetic flux through the wire

- An electric current is induced in a rotating wire loop in a circuit that is in a magnetic field. direction and strength of the induced current change as the loop rotates .



المولدات الكهربائية

المولد الكهربائي : جهاز يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة

كهربائية .

- من الأجهزة التي تعتمد في عملها على

مبدأ الحث الكهرومغناطيسي

- يتكون من ملف ملتف حول قلب من

الحديد (حيث يعمل على تركيز التدفق

المغناطيسي) يدور داخل مجال

مغناطيسي .

يتم حث تيار كهربائي أثناء دوران

الملف داخل المجال المغناطيسي

و التيار الناتج يتغير مقداره

و اتجاهه مع دوران الملف .

(1) alternating current (AC) generators

In contrast, alternating current (AC) generators use a slip-ring device to connect wires to a circuit. In this device, one ring is connected to one end of the armature, and the other ring is connected to the other end of the armature as shown in Figure. As the armature rotates through 180° , the induced EMF reverses direction. This means the current also reverses direction. the current alternates at a fixed rate and varies sinusoidally (Figure)

(1) مولد التيار المتناوب (المتردد) (AC) .

تستخدم مولدات التيار المتناوب (المتردد) (AC) حلقتي

انزلاق لتوصيل الأسلاك بدائرة المولد . حيث تتصل حلقة

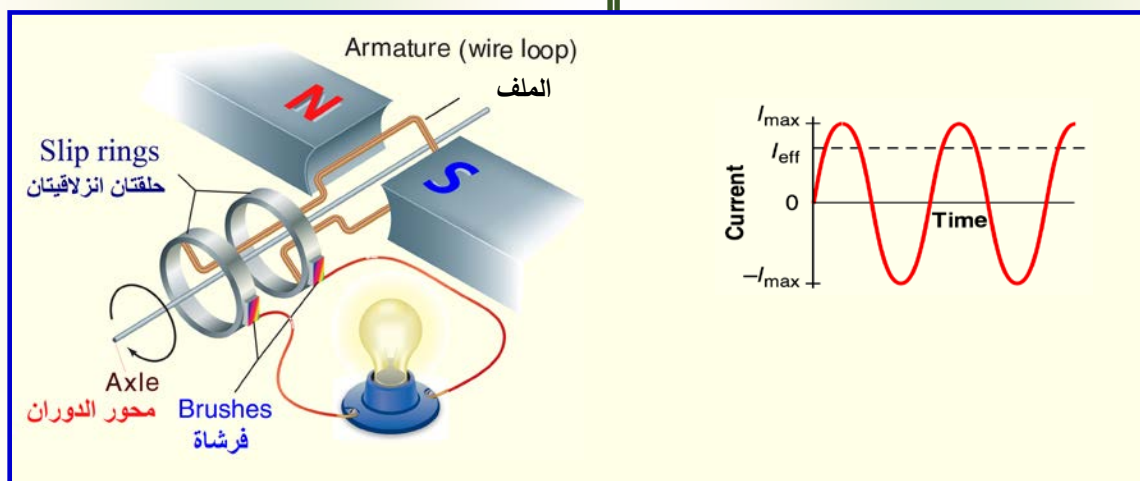
الانزلاق الأولى بأحد طرفي الملف و تتصل الحلقة الثانية

بالطرف الآخر للملف كما في الشكل . مع دوران الملف بزاوية

180° ينعكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة . و هذا

يعني أن التيار أيضاً سينعكس اتجاهه . في الدائرة الخارجية

باستمرار . يتغير اتجاه التيار بمعدل ثابت كدالة جيبية



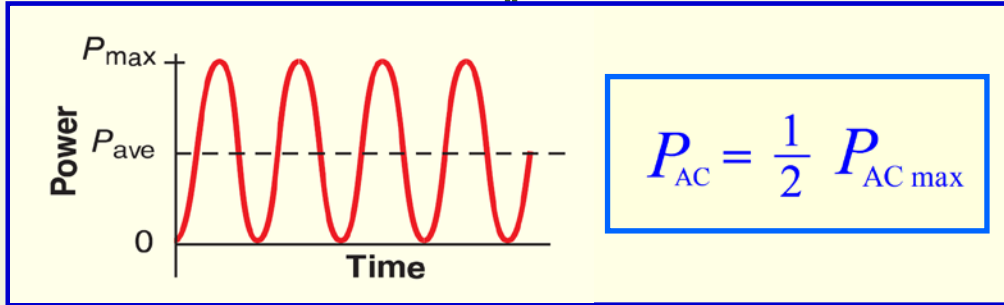
Average power

The power produced by an AC generator is the product of the current and the potential difference. Because both current and potential difference vary, the power in the circuit varies . so we take average power .

Average power (P_{AC}) : half the maximum power

متوسط القدرة

التيار المتردد (المتناوب) تختلف قيمة التيار و فرق الجهد باستمرار . و القدرة هي حاصل ضرب التيار في فرق الجهد . لذلك القدرة متغيرة لذلك نأخذ القيمة المتوسطة .
متوسط القدرة (P_{AC}) : نصف القدرة القصوى ($P_{AC \max}$)

**Effective current** and potential difference

It is common to describe alternating current and potential difference in terms of effective current and effective potential difference, rather than referring to their maximum values

Effective potential difference is commonly referred to as RMS (root mean square) potential difference

التيار و فرق الجهد الفعال

يوصف التيار و فرق الجهد المتردد عادة بالتيار الفعال و فرق الجهد الفعال بدلاً من القيم القصوى .

يتم الإشارة إلى فرق الجهد الفعال باسم فرق جهد RMS (مربع متوسط الجذر)

$$I_{\text{eff}} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) I_{\text{max}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0.707 I_{\text{max}}$$

$$V_{\text{eff}} = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) V_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0.707 V_{\text{max}}$$

$$P_{AC} = I_{\text{eff}}^2 R = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = I_{\text{eff}} V_{\text{eff}}$$

السؤال (4)

An AC generator delivers a peak potential difference of (425 V) .

1- What is the (V_{eff}) in a circuit connected to the generator ?

2- The resistance is $5.0 \times 10^2 \Omega$. What is the effective current ?

يوفر مولد تيار متردد أقصى فرق جهد (425 V) .

1- ما مقدار (V_{eff}) في دائرة متصلة بالمولد .

2- إذا كانت المقاومة في الدائرة تساوي $5.0 \times 10^2 \Omega$. ما شدة التيار الفعال .

السؤال (5)

A generator develops a maximum potential difference of (170 V) .

- 1- What is the effective potential difference?
- 2- A (60 W) lamp is placed across the generator with an I_{\max} of (0.70 A) . What is the effective current through the lamp ?
- 3- What is the resistance of the lamp when it is working?

نتج المولد الكهربائي حداً أقصى من فرق الجهد يبلغ (170 V)
1- ما فرق الجهد الفعال .

2- إذا وصل مصباح بقوة (60 W) بالمولد الكهربائي و كانت القيمة العظمى للتيار (0.70 A) .
ما مقدار التيار الفعال المار بالمصباح .

3- ما مقاومة المصباح عندما يعمل ؟

السؤال (6)

The RMS potential difference of an AC household outlet is (117 V).

- 1- What is the maximum potential difference across a lamp connected to the outlet ?
- 2- If the RMS current through the lamp is (5.5 A) what is the lamp's maximum current ?

يبلغ فرق جهد RMS في منفذ كهربائي منزلي بتيار متردد (117 V) .

- 1- ما أقصى فرق جهد يمر بمصباح متصل بالمنفذ ؟
- 2- إذا كان تيار RMS المار بالمصباح يبلغ (5.5 A) .
ما أقصى تيار يمر في المصباح ؟

السؤال (7)

If the average power used over time by an electric light is (75 W) , what is the peak power ?

إذا كان متوسط القدرة التي يستخدمها مصباح كهربائي مع الزمن يبلغ (75 W) . ما القدرة القصوى ؟

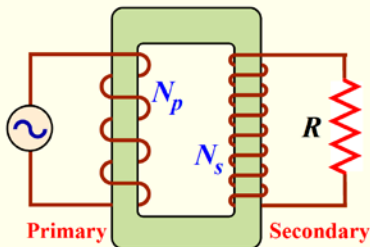
Transformers

devices that increase or decrease potential differences only alternating current AC .
(AC) can be sent through a transformer.
Direct current (DC) cannot pass through a transformer.

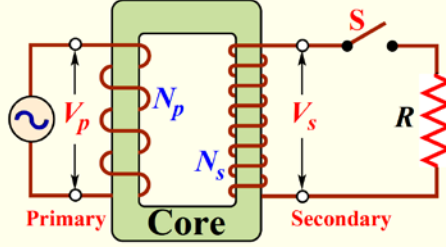
المحولات

جهاز يعمل على رفع أو خفض فرق الجهد للتيار المتردد AC فقط .

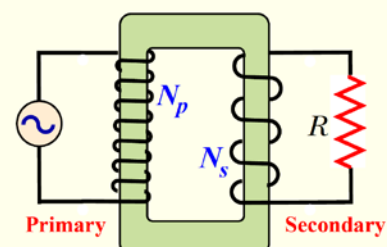
[لا يمكن رفع أو خفض التيار المستمر DC]



step-up transformer



transformer



step-down transformer

- A transformer has two coils electrically insulated from each other but wound around the same iron core,
- one coil the **primary coil** is connected to an AC source . other coil the **secondary coil** .
- Working method : **mutual inductance** between two coils .

When one coil the primary coil is connected to an AC source, the changing current creates a changing magnetic field that is carried through the core to the other coil the secondary coil . In the secondary coil, the changing magnetic field induces a varying **EMF** and current

- يتكون المحول من ملفين ملفوفين على قلب من الحديد ومعزولين كهربائياً الملف .
 - المتصل بالمصدر (AC) يسمى **الملف الابتدائي** و الآخر يسمى **الملف الثانوي** .
 - مبدأ العمل : **الحث المتبادل** بين ملفين .
- عندما يتصل الملف الابتدائي بالمصدر AC يؤدي التيار المتغير إلى مجال مغناطيسي متغير يمر خلال القلب الحديدي إلى الملف الثانوي و هذا المجال المتغير يولد في الملف الثانوية EMF مترددة و تيار متردد .

$$\frac{\text{primary potential difference } (V_p)}{\text{secondary potential difference } (V_s)} = \frac{\text{number of turns in primary coil } (N_p)}{\text{number of turns in secondary coil } (N_s)} = \frac{\text{current in the secondary coil } (I_s)}{\text{current in the primary coil } (I_p)}$$

$$\frac{\text{التيار في الملف الثانوي } (I_s)}{\text{التيار في الملف الابتدائي } (I_p)} = \frac{\text{عدد لفات الملف الابتدائي } (N_p)}{\text{عدد لفات الملف الثانوي } (N_s)} = \frac{\text{فرق الجهد للملف الابتدائي } (V_p)}{\text{فرق الجهد للملف الثانوي } (V_s)}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Step-Up Transformer	محول رافع للجهد	$V_p < V_s$	$N_p < N_s$	$I_p > I_s$
Step-Down Transformer	محول خافض للجهد	$V_p > V_s$	$N_p > N_s$	$I_p < I_s$

السؤال (8)

A step-down transformer has (7500 turns) on its primary coil and (125 turns) on its secondary coil. The potential difference across the primary circuit is (7.2 kV).

- 1- What is the potential difference across the secondary circuit ?
- 2- If the current in the secondary circuit is (36 A) what is the current in the primary circuit ?

يحتوي محول لخفض الجهد على (7500 لفة) في ملفه الابتدائي (الرئيسي) و (125 لفة) في ملفه الثانوي . و يبلغ فرق الجهد عبر الملف الابتدائي (7.2 kV) .

- 1- ما فرق الجهد عبر الدائرة الثانوية .
- 2- إذا كان التيار في الدائرة الثانوية (36 A) . فما التيار في الدائرة الابتدائية ؟

السؤال (9)

A step-up transformer has a primary coil consisting of (200 turns) and a secondary coil consisting of (3000 turns). The primary coil is supplied with an effective AC potential difference of (90.0 V).

- 1- What is the potential difference in the secondary circuit ?
- 2- The current in the secondary circuit is (2.0 A) . What is the current in the primary circuit ?

يحتوي محول لرفع الجهد على (200 لفة) في ملفه الابتدائي (الرئيسي) و (3000 لفة) في ملفه الثانوي . و يبلغ فرق الجهد الفعال عبر الملف الابتدائي (90.0 V) .

- 1- ما فرق الجهد عبر الدائرة الثانوية .
- 2- إذا كان التيار في الدائرة الثانوية (2.0 A) . فما التيار في الدائرة الابتدائية ؟

MULTIPLE CHOICE

اختر الإجابة الصحيحة

(1) اختيار

Which dimensional analysis is correct for the calculation of EMF ?

ما التحليل البعدي الصحيح لحساب لحساب EMF ؟

☐ $(N \cdot A \cdot m)(J)$

☐ $(N/A \cdot m)(m)(m/s)$

☐ $J \cdot C$

☐ $(N \cdot m \cdot A/s)(1/m)(m/s)$

(2) اختيار

A 150 W transformer has an input potential difference of 9.0 V and an output current of 5.0 A . What is the ratio of V output to V input ?

يمتاز محول (150 W) بفرق جهد داخل (9.0 V) و تيار خارج (5.0 A) . ما نسبة V_{output} إلى V_{input} ؟

☐ 1 to 3

☐ 3 to 1

☐ 3 to 10

☐ 10 to 3

(3) اختيار

A 15 cm length of wire is moving perpendicularly through a magnetic field of strength 1.4 T at the rate of 0.12 m/s . What is the EMF induced in the wire ?

يتحرك سلك طوله (15 cm) عمودياً عبر مجال مغناطيسي مقداره (1.4 T) بسرعة (0.12 m/s) . فإن EMF المستحثة في السلك ؟

☐ 0 V

☐ 0.018 V

☐ 0.025 V

☐ 2.5 V

(4) اختيار

A transformer uses a 91 V supply to operate a 13 V device. If the transformer has 130 turns on the primary coil and the device uses 1.9 A of current from the transformer, what is the current supplied to the primary coil ?

يستخدم محول مصدراً لجهد يبلغ (91 V) لتشغيل جهاز يعمل على جهد (13 V) . إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي (130 لفة) و يمر في الجهاز تيار (1.9 A) . فما التيار المار في الملف الابتدائي ؟

☐ 0.27 A

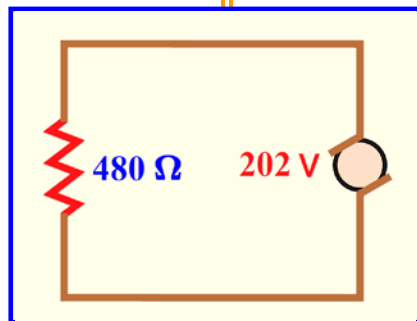
☐ 0.70 A

☐ 4.8 A

☐ 13.3 A

(5) اختيار

An AC generator that delivers a peak potential difference of 202 V is connected to an electric heater with a resistance of $4.80 \times 10^2 \Omega$. What is the effective current in the heater ?



يتصل مولد تيار متناوب يعطي أقصى فرق جهد (202 V) مع سخان كهربائي بمقاومة مقدارها ($4.80 \times 10^2 \Omega$) . ما التيار الفعال في السخان ؟

☐ 0.298

☐ 1.68 A

☐ 2.38 A

☐ 3.37 A

اختيار (6)

What is the maximum value of the induced EMF in AC generator if its effective value is (220 V)?

ما القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المستحثة في ملف مولد تيار متردد جيبى إذا كانت القيمة الفعالة لها (220 V) ؟

☐ 440 V

☐ 155.6 V

☐ 311.1 V

☐ 220 V